

## VTT Technical Research Centre of Finland

### Rakebus 2019 -projektin vuosiraportti

Söderena, Petri

Published: 04/02/2020

*Document Version*  
Publisher's final version

[Link to publication](#)

*Please cite the original version:*

Söderena, P. (2020). *Rakebus 2019 -projektin vuosiraportti*. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Asiakasraportti No. VTT-CR-00104-20



VTT  
<http://www.vtt.fi>  
P.O. box 1000FI-02044 VTT  
Finland

By using VTT's Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:




This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.



## Rakebus 2019 -projektin vuosiraportti

Kirjoittajat: Petri Söderena

Luottamuksellisuus: Julkinen

<b>Raportin nimi</b> Rakebus 2019 -projektin vuosiraportti		
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b> Helsingin seudun liikenne HSL, Reijo Mäkinen	<b>Asiakkaan viite</b> VTT-CRM-160458-19	
<b>Projektin nimi</b> Rakebus 2019 - Kaupunkibussien päästömittaukset	<b>Projektin numero/lyhytnimi</b> Rakebus 2019	
<b>Tiivistelmä</b> <p>Rakebus 2019 -projekti on jatkumoa Helsingin seudun liikenteen (HSL) VTT:ltä tilaamille kaupunkibussien suorituskykyarvioinneille. Projektin tavoitteena oli suorittaa alustadynamometrillä HSL:n tilaaman liikenteen piirissä oleville kaupunkibusseille päästömittauksia autojen päästötason todentamiseksi sekä päivittää HSL-VTT yhteistyössä kehitettyä kaupunkibussien päästötietokantaa. HSL käyttää dataa mm. bussiliikenteen kilpailutukseen. Vastaavanlaisia kaupunkibussien päästötason todentamisprojekteja on suoritettu vuodesta 2002 lähtien.</p> <p>Luotu tietokanta on kattava ja ainutlaatuinen. Vuoden 2019 Rakebusprojektin jälkeen kaupunkibussien päästötietokanta kattaa 183 Euro I-VI luokan bussin mittaustuloksen Braunschweig syklillä ja 36 bussin mittaustuloksen WHVC syklillä.</p> <p>Vuonna 2017 otettiin päästötietokannassa käyttöön bussien tulosten jaottelu mittauksissa olleiden bussien ajokilometrien perusteella. Jaottelun johdosta voidaan havaita Euro VI autojen NO<sub>x</sub>-päästöjen olevan alle 150 tkm ajettuina todella matalla tasolla. NO<sub>x</sub>-päästöt näyttäisivät kuitenkin tämän hetken tilanteen perusteella nousevan merkittävästi ajokilometrien kasvaessa.</p> <p>Vuoden 2018 Rakebus projektin raporttiin lisättiin ns. CF-kerroin (conformity factor) havainnollistamaan mitattujen NO<sub>x</sub>-päästöjen perusteella arvioitua suhdetta Euro VI lainsäädännön tyyppihyväksyntä (WHTC) ja käytönaikaisten päästöjen sääntöjen mukaisuustestin (ISC) raja-arvoihin.</p> <p>Tämän hetken tietojen (kaksi 2-akselista bussia) mukaan Euro VI bussien ikääntyminen yli 500 tkm ajetuilla busseilla näkyy siten, että sekä Braunschweig syklillä (kuuma käynnistys) että WHVC syklillä (kylmä- ja kuumakäynnistyksen yhdistelmä) NO<sub>x</sub> päästötaso nousee Euro VI päästölainsäädännön raja-arvojen (varsinaiset raja-arvot ja ISC) yli. NO<sub>x</sub>-päästöt näyttävät selkeästi siis kasvavan ajokilometrien kasvaessa.</p>		
<b>Espoo 4.2.2020</b>		
<b>Laatija</b>  Petri Söderena Tiimipäällikkö	<b>Tarkastaja</b>  Juhani Laurikko Principal Scientist	<b>Hyväksyjä</b>  Jukka Lehtomäki Manager, Operational Support
<b>VTT:n yhteystiedot</b> VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 111 (vaihe, klo 8.00 - 16.30) Sähköpostiosoitteet: etunimi.sukunimi@vtt.fi		
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b> HSL, VTT		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

## Luettelo käytetyistä lyhenteistä

---

CNG	Compressed natural gas	Paineistettu maakaasu
CO	Carbon oxide	Hiilimonoksidi
CO <sub>2</sub>	Carbon dioxide	Hiilidioksidi
CVS	Constant volume sampler	Pakokaasukeräin (vakiovirtaus)
DOC	Diesel oxidate catalyst	Diesel hapetuskatalysaattori
DPF	Diesel particulate filter	Diesel hiukkassuodatin
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle	Euro V ympäristöystävällisempi päivitys
HC	Hydrocarbon	Hiilivety
EAT	Exhaust aftertreatment	Pakokaasujen jälkikäsittely
EGR	Exhaust gas recirculation	Pakokaasujen takaisinkierätyk
NO <sub>x</sub>	Nitrogen oxides	Typpioksidit
SCR	Selective catalyst reduction	Selektiivinen katalyyttinen pelkistäminen
SI	Spark ignition	Kipinäsytytteinen (kaasumoottori)
PM	Particulate mass	Partikkelimassa
PN	Particulate number	Partikkelilukumäärä
WHTC	World harmonized transient cycle	Moottorien sertifiointisykli
WHVC	World harmonized vehicle cycle	WHTC:aa vastaava ajoneuvosykli

## Sisällysluettelo

---

Luettelo käytetyistä lyhenteistä .....	2
Sisällysluettelo .....	3
1. Toimeksiannon tausta .....	4
2. Johdanto .....	5
3. Mittausmenetelmä .....	7
3.1 Mittausjärjestelmä .....	7
3.2 Mittaus sykli .....	8
3.3 Mittausjärjestelyt .....	10
4. Tulokset .....	11
5. Tulosten tarkastelu .....	15
6. Yhteenveto .....	17

## 1. Toimeksiannon tausta

---

Rakebus 2019 -projekti oli HSL:n (Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä) VTT Oy:ltä tilaama kaupunkibussien päästömittauksia koskeva vuoden 2019 kestänyt projekti, joka oli jatkoa ns. Rakebus bussien päästömittaus -projekteille, joita on toteutettu useiden vuosien ajan 2000-luvun alusta lähtien.

Projektin tuloksena HSL saa käyttöönsä VTT:n kaupunkibussien päästötietokannan, jota ylläpidetään jatkuvasti, ja jota on nyt päättyneen projektin tuloksena päivitetty vuosineljänneksittäin vuonna 2019 mitattujen bussien osalta. HSL hyödyntää syntyvää dataa mm. bussiliikenteen kilpailutuksessa ja strategiatyössä.

Asiakas on päättänyt, että bussien päästötietokanta on julkinen.

## 2. Johdanto

---

VTT Oy:n ylläpitämää kaupunkibussien päästötietokantaa on koottu vuodesta 2002 lähtien, ja se kattaa tällä hetkellä yhteensä 183 kaupunkibussia (dieselbusseja Euro I - VI-luokissa, kaasubusseja Euro II - VI-luokissa sekä EEV-luokan etanolibusseja) Braunschweig-syklillä mitattuna. Vuoden 2019 aikana tietokantaan lisättiin viiden kaupunkibussin mittaustulokset. Tietokanta pitää sisällään Euro-luokakohtaiset sekä automerkkikohtaiset keskiarvotulokset. Mittaustulokset perustuvat akkreditoituun mittausmenetelmään ja ovat keskenään täysin vertailukelpoisia, mikä tekee tietokannasta laajuudeltaan poikkeuksellisen kattavan ja ainutlaatuisen jopa maailmanlaajuisesti.

Vuonna 2017 mittauksissa otettiin käyttöön lämmenneellä moottorilla ajettavan Braunschweig-syklin rinnalla myös WHVC<sup>1</sup> testisykli, joka ajetaan kylmä- ja kuumakäynnisteisen syklin yhdistelmänä. Lopullinen tulos ilmoitetaan yhdistelmänä kylmän syklin (14%) ja kuumen syklin (86%) tuloksista. Painokertoimet ovat samat kuin varisinaisessa tyyppihyväksymistestissä käytettävät. Kylmäkäynnisteinen testi lisättiin, koska se tuo hyvin esiin uusimpien autojen herkkyyden lämpötilalle. Tällä hetkellä päästötietokanta sisältää myös 36 kaupunkibussin päästötulokset WHVC syklillä.

Päästötietokanta päivittyy jatkuvasti uusien ajoneuvojen sekä seurannassa olevien ajoneuvojen mittausten myötä. Ajoneuvojen seurannan kautta voidaan arvioida myös kilometrikertymän vaikutusta ajoneuvojen suorituskyvyn ja päästötason pysyvyyteen.

Kaupunkibussien päästö- ja energiankulutustutkimusta on VTT:llä toteutettu useassa projektikokonaisuudessa. Projektit kattavat bussien lisäksi myös kuorma-autokalustoonkohdistuvia hankkeita.

Kertyneiden mittausten myötä on muodostunut selvä kuva ajoneuvojen teknisestä kehityksestä päästöjen ja energian käytön osalta. Koska mittausten taustalla olevat hankkeet ovat olleet pääsääntöisesti julkisesti rahoitettuja, tämä tieto on siten myös pääosiltaan julkisesti saatavilla ja käytettävissä projektijulkaisujen muodossa.

Kaupunkibussien päästötutkimus ja menetelmän kehitys aloitettiin VTT:llä laajemmin vuonna 2002 uuden raskaan kaluston tutkimuslaboratorion valmistuttua. Ensimmäiseen vuodet 2002-2004 käsittäneeseen *Bussikaluston pakokaasupäästöjen evaluointi* (RAKEBUS) -projektiin osallistuivat seuraavat tahot:

- Pääkaupunkiseudun Yhteistyövaltuuskunta YTV
- Helsingin Kaupungin Liikennelaitos, Suunnitteluosasto<sup>2</sup>
- Liikenne- ja viestintäministeriö
- Gasum Oy
- Vägverket (Ruotsi)
- The International Association for Natural Gas Vehicles (Uusi-Seelanti)
- VTT

RAKEBUS-projektissa yhtenä keskeisenä tavoitteena oli selvittää erityyppisten kaupunkibussien päästöt todellisuutta vastaavassa dynaamisessa ajossa. Tuolloin jo varauduttiin siihen, että pakokaasujen jälkikäsittelytekniikka lisääntyy merkittävästi. Kaupunkibussien, kuten muidenkin raskaiden autojen, moottorit hyväksytään moottorikokeen perusteella irrallisina, ottamatta huomioon ajoneuvon muita ominaisuuksia, joten

---

<sup>1</sup> WHVC = World Harmonized Vehicle Cycle

<sup>2</sup> Pääkaupunkiseudun Yhteistyövaltuuskunnasta YTV:stä ja ja Helsingin kaupungin liikennelaitoksen suunnitteluosastosta muodostettiin vuonna 2010 HSL.



tyyppihyväksymistestien tulokset eivät ole sellaisenaan sovellettavissa todellisen liikenteen päästöjen arvioimiseen. Tyyppihyväksymiskokeessa ei myöskään mitata hiilidioksidipäästöjä eikä polttoaineen (tai energian) kulutusta.

RAKEBUS 2002 – 2005

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2005/RAKEBUS.pdf>

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2007/RakeBus2005.pdf>

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2007/RakeBus2006.pdf>

RASTU<sup>3</sup> 2006 – 2008

[http://www.motiva.fi/files/2278/RASTU-loppuraportti\\_2006-2008.pdf](http://www.motiva.fi/files/2278/RASTU-loppuraportti_2006-2008.pdf)

HDENIQ<sup>4</sup> 2009 – 2011

<http://www.transec.fi/julkaisut/hdeniq-hanke>

[http://www.transec.fi/files/341/VTT\\_Kaupunkibussien\\_Paastotietokanta\\_2010.pdf](http://www.transec.fi/files/341/VTT_Kaupunkibussien_Paastotietokanta_2010.pdf)

[http://www.transec.fi/files/556/Kaupunkibussien\\_paastotietokanta\\_2011\\_Yhteenveto\\_VTTn\\_menetelmista\\_ja\\_mittauksista.pdf](http://www.transec.fi/files/556/Kaupunkibussien_paastotietokanta_2011_Yhteenveto_VTTn_menetelmista_ja_mittauksista.pdf)

Hyötyajoneuvot 2012

Erkkilä, K., Laurikko, J. & Karvonen, V. Kaupunkibussien päästötietokanta 2012 – Yhteenveto VTT:n menetelmistä ja mittauksista. Report VTT-CR-00455-14, 2014. In Finnish.

RAKEBUS 2013

Karvonen, V. 2013. Kaupunkibussien päästötietokanta 2013 – Yhteenveto VTT:n menetelmistä ja mittauksista. VTT-R-05385-14. 13 s.

[http://www.transsmart.fi/files/223/Kaupunkibussien\\_paastotietokanta\\_2013.pdf](http://www.transsmart.fi/files/223/Kaupunkibussien_paastotietokanta_2013.pdf)

RAKEBUS 2016

Söderena, P. 2017. Rakebus 2016 – Projektin loppuraportti. VTT-CR-00462-17. 20 s.

[http://www.transsmart.fi/files/427/Rakebus\\_2016\\_projektin\\_loppuraportti\\_20170313.pdf](http://www.transsmart.fi/files/427/Rakebus_2016_projektin_loppuraportti_20170313.pdf)

RAKEBUS 2017

Söderena, P. 20178. Rakebus 2017 – Projektin loppuraportti. VTT-CRM-114458-17. 16 s.

[http://www.transsmart.fi/files/439/Rakebus\\_2017\\_Projektin\\_loppuraportti.pdf](http://www.transsmart.fi/files/439/Rakebus_2017_Projektin_loppuraportti.pdf)

RAKEBUS 2018

Söderena, P. 2018. Rakebus projektin vuosiraportti 2018. VTT-CRM-156716-18. 17 s.



<sup>3</sup> Raskas ajoneuvokalusto: Turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka 2006-2008

<sup>4</sup> Energiatehokas ja älykäs raskas ajoneuvo



### 3. Mittausmenetelmä

#### 3.1 Mittausjärjestelmä

VTT:n raskaiden ajoneuvojen tutkimuslaboratoriossa (Kuva 1) on alustadynamometrin, moottoridynamometrin ja täyden virtaaman keräys- ja laimennuslaitteiston (CVS) lisäksi monipuolinen analyysilaitteisto sekä säänneltyjen päästöjen (CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM ja PN) että sääntelemättömien päästöjen erikoispakokaasumittauksiin, mukaan lukien laitteistot hiukkasten yksityiskohtaiseen karakterisointiin (mm. massaemissio, kokoluokittelu, lukumäärälaskenta).

FroudeConsinen valmistaman alustadynamometrin rullan halkaisija on 2,5 metriä, ja sen tehon vastaanottokyky (jatkuva) on 300 kW. Dynamometri on varustettu erittäin nopealla säätöjärjestelmällä ja sähköisellä inertian simuloinnilla mahdollistaen dynaamisen testauksen (transienttitestauksen). Inertian simulointi on säädettävissä alueella 2.500 – 60.000 kg, eli laitteistolla kyetään jäljittelemään jopa maksimiin kuormattua ajoneuvoyhdistelmää, jonka kokonaismassa on 60 tonnia.

Säännellyt pakokaasukomponentit mitataan Direktiivin 1999/96/EC vaatimukset täyttävän täyden virtaaman CVS –laitteiston (alun perin Pierburg CVS-120-WT ja sittemmin osittain AVL laitteilla päivitetty) ja analysaattorijärjestelmän (AMA i60) avulla. Päästöistä kerätään osavirtanäyte koko kokeen (tai osasyklin) ajalta näytepussiin henkilöautojen testin tapaan, josta muodostetaan yksittäisen kokeen keskiarvotulos. Lisäksi pakokaasuista määritetään hetkelliset massaemissiot. Saatua hetkellisestä massaemissioista integroitua tulosta voidaan verrata näytepusseista saatuun keskiarvotulokseen.



Kuva 1. Yleisnäkymä ajoneuvolaboratoriosta. Ylhäällä oikealla näkyy CVS-laitteiston laimennustunneli. Laboratorion lämpötila vakioidaan mahdollisimman tarkan toistettavuuden saavuttamiseksi.

### 3.2 Mittaus sykli

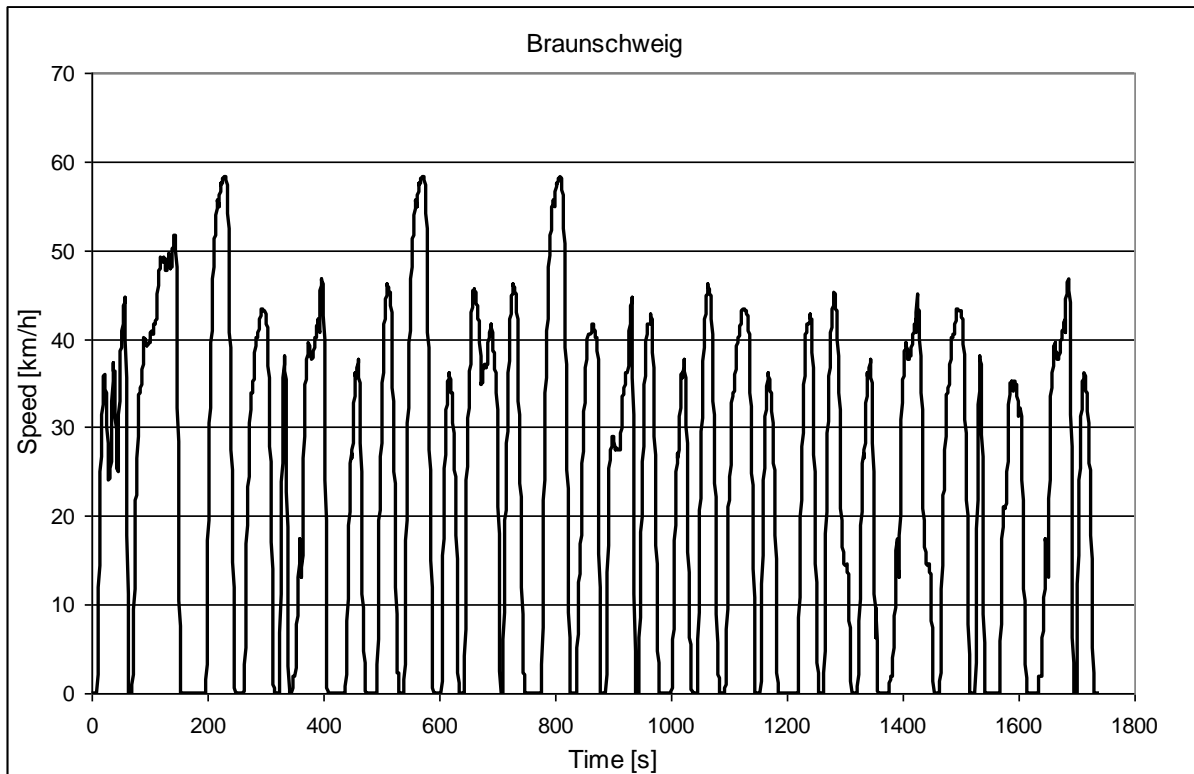
Päästötietokanta koostuu akkreditoidun mittausmenetelmän mukaan alustadynamometrilla ajettujen testien tuloksista<sup>5</sup>. Alustadynamometrilla ajetaan tutkimusmenetelmän mukaisesti Braunschweig -kaupunkibussisykli sekä ja WHVC kylmä-kuuma yhdistelmäsykli käyttäen inertia-asetuksena ajoneuvon (punnittua) omamassaa lisättynä hyötykuormalla, joka on puolet rekisteriotteen mukaisesta sallitusta enimmäiskuormasta.

Alusta asti mukana olleena mittaus syklinä käytetty Braunschweig-sykli on saksalaisperäinen, Braunschweigin kaupungin bussiliikenteestä aikoinaan kerätty sykli, mutta sittemmin yleisesti tunnettu ja laajalti käytetty varsinkin kaupunkiliikenteen bussien mittaamisessa. Sykli on tallennus ajoneuvon nopeudesta ajan suhteen (Kuva 2), ja se kuvaa vertailumittausten mukaan hyvin myös Helsingin keskustan tyyppistä ajoa. Todellisesta ajosuoritteesta tallennettu nopeus/aika-profiili toistetaan kaikilla tutkimuksen ajoneuvoilla. Toisin sanoen kaikilla ajoneuvoilla toteutetaan samanlainen ajosuorite. Tämä on keskeisen tärkeää tulosten vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi. Erityyppisillä ajosuoritteilla ajoneuvojen suorituskky ei ole vertailukelpoinen. VTT:n menetelmässä Braunschweig-testisyklillä ajettaessa ajoneuvo sekä dynamometri lämmitetään ennen mittauksia normaaliin käyttölämpötilaan ajamalla puoli tuntia nopeudella 80 km/h. Tämän jälkeen ajoneuvon tila vakioidaan ajamalla yksi kokonainen mittasykli, esim. Braunschweig-sykli (1740 s). Vakioinnin jälkeen suoritetaan kaksi peräkkäistä testiajtoa, joiden tuloksien keskiarvo on varsinainen ilmoitettava tulos. Mittaus tapahtuu normaalissa huoneenlämmössä (noin +20...+23 °C).

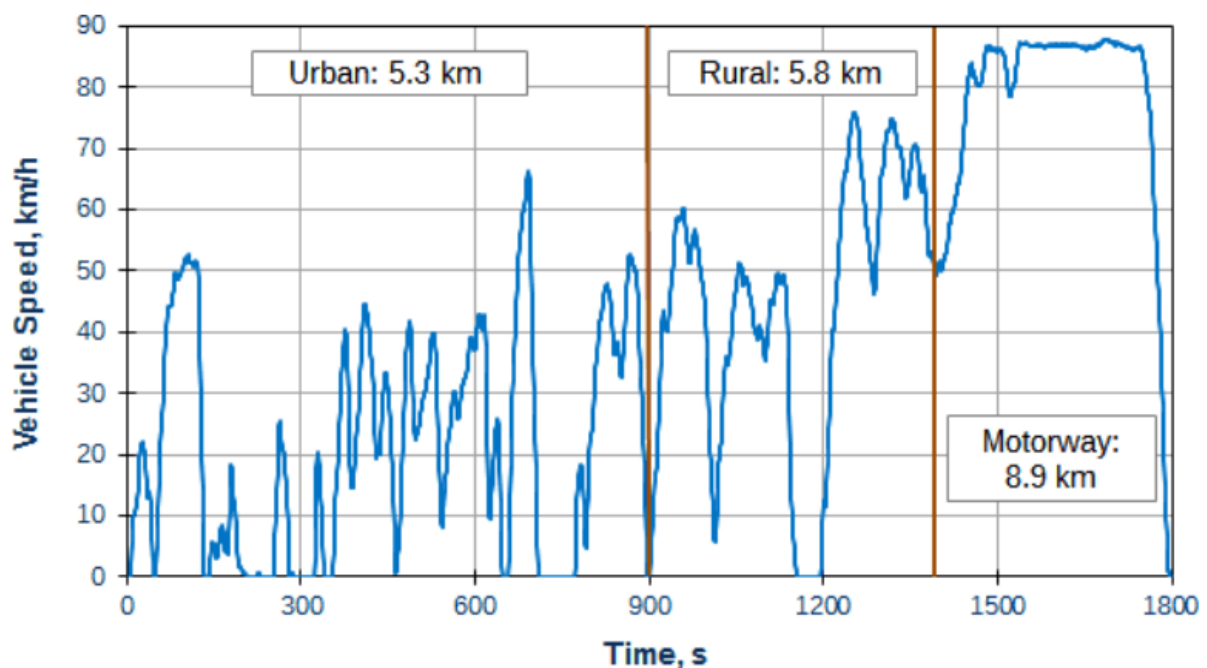
Vuonna 2017 otettiin käyttöön Braunschweig-kaupunkibussisyklin lisäksi WHVC-testisykli, joka ajetaan kylmä- ja kuumasyklin yhdistelmänä. WHVC-testisykli päätettiin ottaa mukaan, jotta dynamometrimittausten tuloksille saadaan parempi vertailtavuus Euro VI-moottoreiden tyyppihyväksymisykliin (WHTC), josta WHVC on suoraan johdettu muunnos. Moottorin päästöt mitataan WHTC-syklissä sekä kylmäkäynnisteisenä moottori yön yli seisoneena, että lämminkäynnisteisenä. Kylmäkokeen jälkeen pidetään 10±1 minuutin tauko, jonka jälkeen aloitetaan lämmin koe. Moottorin päästöarvot lasketaan näiden kahden tuloksen perusteella, kylmäkokeen painoarvon ollessa 14 % ja lämpimän 86 %. Kaupunkipussien päästötietokantaan suoritettavissa WHVC kylmä-kuumayhdistelmäsykleissä käytetään samaa mittausmenettelyä kokonaiselle ajoneuvolle. WHVC-sykli ei ole nimenomainen kaupunkibussisykli, vaan testisyklillä on tarkoitus jäljitellä ajoneuvon käyttöä kaupunki-, maantie- ja moottoriteliikenteessä. Kullekin liikennetyypille on oma jakso syklissä. Kuva 3 on esitetty WHVC-testisyklin eri jaksot ja niiden nopeusprofiilit.

WHVC-testauksessa inertia-asetuksena käytetään Braunschweig-testisyklin tapaan hyötykuormaltaan puolikuormaa vastaavaa massaa. Molempien testisykliä aikana kertyneet ympäristöpäästöt ja polttoaineenkulutus ilmoitetaan massoina ajomatkaan suhteutettuna [g/km], [kg/km] ja energiankulutus ilmoitetaan myös muodossa [MJ/km].

<sup>5</sup> FINAS:n VTT:lle myöntämän nykyinen akkreditointitunnus on FINAS T259.



Kuva 2. Braunschweig kaupunkibussisyklin nopeus – aika profiili.



Kuva 3: WHVC testisyklin nopeus - aika profiili ja eri liikennetyyppejä vastaavat jaksot.

Euro VI-autojen osalta on muodostettu neljä tulostaulukkoa. Nämä ovat vanhan menetelmän mukaiset tulostaulukot Braunschweig-testin tuloksille ja uudet taulukot WHVC-testin tuloksille. Kummankin syklin osalta esitetään Euro-luokkien keskiarvotulokset ja lisäksi merkkikohtaiset keskiarvotulokset.

### 3.3 Mittausjärjestelyt

VTT käyttää kaupunkibussien seurantamittauksissa tavallista jakeluasemilta saatavaa kauppalaatuista, kevä-, kesä- ja syyskäyttöön tarkoitettua (-5/-15) dieselpolttoainetta (Neste dieselpolttoaine, B7/EN590). Polttoaine-erät hankitaan VTT:lle noin kaksi kertaa vuodessa ja niistä otetaan kontrollinäytteet, jotka arkistoidaan.

Ajoneuvon polttoaineen kulutus testin aikana mitataan ulkoisesta polttoainesäiliöstä punnitsemalla. Hiilidioksidipäästöjen määrittämisessä käytetään pakokaasuanalysointilaitteiden tuottaman pitoisuustiedon sijasta punnittuun polttoaineenkulutukseen perustuvaa laskentaa paremman mittatarkkuuden vuoksi.

Polttoainetiedot (tiheys, ominais-CO<sub>2</sub> arvo ja lämpöarvo) perustuvat dieselin ja maakaasun osalta Euroopan Komission yhteisen tutkimuslaitoksen (JRC) raporttiin EUR 26028 EN – 2014 Well-to-Wheels analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context ([https://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/report\\_2014/wtt\\_report\\_v4a.pdf](https://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/report_2014/wtt_report_v4a.pdf)).

Etanolidieselin (lisäaineistettu etanoli ED95/RED95) osalta laskentaperusteena on käytetty etanolin hiilipitoisuutta ja polttoaineen lämpöarvoa.

Kaupunkibussien ajovastuksina käytetään vastuksia, jotka on määritetty kullekin ajoneuvoluokalle (12 metriä/2-akselinen, 14 metriä/3-akselinen) rullauskokeilla käyttäen kuormana puolta nimelliskuormasta. Puolikuorma antaa kuvan ajoneuvojen keskimääräisestä suorituskyvystä. Kuorman vaikutus runsaasti kiihdytyksiä ja jarrutuksia sisältävässä Braunschweig-syklissä on merkittävä, sillä ajoneuvon massan kiihdyttämiseen käytetään n. 70 % vetopyörälle tuodusta energiasta. Tyypillisesti siis vetopyörälle tuodusta työstä n. 20 % kuluu vierintävastuksen voittamiseen, n. 10 % ilmanvastuksen voittamiseen ja loput n. 70 % käytetään massan kiihdyttämiseen.

Bussit mitataan siinä kunnossa kun ne ovat VTT:lle liikennöitsijöiltä tullessaan olleet. Mahdolliset virheilmoitukset tai moottorin virheellinen toiminta eivät siis estä mittauksia. Perusteluna tälle on, että ylläpidettävän tietokannan halutaan kuvaavan mahdollisimman hyvin tilannetta, joka vastaa liikenteessä olevien bussien kuntoa ja siten vallitsevaa todellisuutta. Ennen varsinaisia mittauksia kullakin autolla ajetaan 30 min 80 km/h, jotta autot ovat aina samalla tavalla "valmisteltuja" mittauksia varten. Erityisesti autojen joissa on SCR-järjestelmä päästötuloksiin vaikuttaa merkittävästi miten autoa on käytetty ennen mittausta. SCR-järjestelmällä on ominaista varastoida ureaa SCR-katalyytin pinnalle erityisesti silloin kun katalyyttinen reaktio ei ole vielä käynnistynyt.

## 4. Tulokset

---

VTT:n kaupunkibussien päästötietokannan tiivistelmät koostuvat neljästä taulukosta. Taulukko 1:ssä on esitetty kootusti kaupunkibussien keskimääräiset päästöt Braunschweig -syklillä ajoneuvon rakenteen ja polttoaineen perusteella jaoteltuna. Jaottelussa ovat mukana myös hybridi- sekä kevytrakenneteknologiaa käyttävät kaupunkibussit. Taulukko 2:ssa on esitetty kaupunkibussien päästöt merkkikohtaisesti polttoaineen ja ajoneuvon tyyppin mukaan jaoteltuna.

Vuonna 2017 käyttöön otetun WHVC-syklin tulokset ovat esitetty Taulukko 3 -Taulukko 4:ssä. Taulukko 3:ssa on esitetty Euro VI- ja retrofit Euro VI<sup>6</sup> -kaupunkibussien keskimääräiset päästöt WHVC-syklillä. Taulukko 4:ssa on esitetty merkkikohtaiset päästöt Euro VI-kaupunkibusseille WHVC syklillä.

Molempien syklien tulokset ovat keskimääräisiä koostuen useamman eri ajoneuvon päästötuloksien keskiarvosta. Vuonna 2017 myös päästötietokantataulukon esitystapaan tehtiin muutoksia. Tulokset on nyt jaoteltu EEV- ja Euro VI-bussien osalta ajokilometrien perusteella kolmeen luokkaan: luokka 1. alle 150 tkm, luokka 2. 151 tkm ... 500 tkm ja luokka 3. yli 501 tkm.

Vuoden 2019 Rakebus projektin aikana mittauksiin saatiin ensimmäisiä Euro VI-kaupunkibusseja joiden ajokilometrikertymä oli yli 500 tkm. Käyttöön otetun jaottelun perusteena on, että bussit ajomäärän mukaan jaottelemalla saadaan esiin mahdollinen pakokaasujen jälkikäsittelylaitteiston toiminnan huononemisesta johtuva päästöjen kasvu ajokilometrien karttuessa. Lisäksi NO<sub>x</sub>-päästöjen keskihajonnalle on otettu EEV- ja Euro VI-päästötason busseille käyttöön oma sarake, jotta keskiarvotulokseen mahdollisesti vaikuttavien yksittäisten bussien suurten poikkeamien vaikutus olisi lukijalle näkyvissä. Mikäli NO<sub>x</sub>-päästöjen keskihajonta sarakkeesta puuttuu arvo, se tarkoittaa, että mitattuja autoyksilöitä on vain yksi.

---

<sup>6</sup> Retrofit Euro VI-kaupunkibussilla tarkoitetaan bussia, johon on jälkikäteen asennettu pakokaasujen jälkikäsittelyjärjestelmä, jolla ajoneuvon päästöt täyttävät Euro VI vaatimustason.



*Taulukko 1: Euro I - VI diesel, CNG ja etanolikaupunkibussien keskimääräiset päästöt Braunschweig-syklillä rakenteen mukaan jaoteltuna.*

Braunschweig	Number n	Mileage Min	Max	CO g/km	HC g/km	CH <sub>4</sub> g/km	NOx g/km	NOx g/km std.	PM g/km	CO <sub>2</sub> g/km	CO <sub>2</sub> eqv** g/km	FC kg/100k m	FC MJ/km
2 - axle													
Diesel Euro I	2	555025	672700	1.39	0.32		15.59		0.436	1220	1220	38.6	16.6
Diesel Euro II	13	160500	1125674	1.60	0.21		12.86		0.213	1286	1286	40.7	17.5
Diesel Euro III	14	15934	786164	0.85	0.12		8.48		0.209	1213	1213	38.4	16.6
Diesel Euro IV	8	6105	474152	2.96	0.10		8.36		0.112	1207	1207	38.2	16.5
Diesel Euro V***				2.96	0.10		7.51		0.089	1207	1207	38.2	16.5
Diesel EEV	17	0	150000	0.93	0.03		5.88	1.09	0.061	1160	1160	36.7	15.8
Diesel EEV	14	150001	500000	0.90	0.03		6.21	0.76	0.065	1130	1130	35.8	15.4
Diesel EEV	3	500001	727134	3.65	0.10		5.59	0.30	0.147	1204	1204	38.3	16.5
Diesel Euro VI	7	0	150000	0.14	0.00		0.10	0.13	0.017	1117	1117	35.3	15.2
Diesel Euro VI	11	150001	500000	0.09	0.00		1.07	0.53	0.011	1127	1127	35.7	15.4
Diesel Euro VI	2	500001	597185	0.05	0.00		1.40	0.07	0.003	1073	1073	33.9	14.6
Ethanol EEV	4	25249	133297	4.01	0.69		6.25		0.022	1321	1321	69.2	17.5
Diesel Hyb. EEV	5	2602	136255	0.89	0.02		5.12		0.046	848	848	26.9	11.6
Diesel Hyb. Euro VI	1	68310	68310	1.66	0.00		0.21		0.011	943	943	29.8	12.9
CNG Euro II *	2	211000	672946	4.32	7.12	6.76	16.92		0.009	1140	1295	42.1	20.7
CNG Euro III	2	37600	237189	0.05	2.64	2.38	9.44		0.019	1185	1240	43.7	21.5
CNG EEV	6	0	150000	1.25	1.19	0.98	2.91	1.43	0.009	1302	1325	48.0	20.7
CNG EEV	2	150001	500000	2.53	0.44	0.37	2.06	0.34	0.004	1187	1195	43.8	18.9
CNG EEV	3	500001	640252	10.52	2.07	1.85	6.64	0.44	0.005	1263	1306	46.6	20.1
CNG Euro VI	2	347	36047	0.53	0.06	0.04	0.09	0.02	0.025	1068	1068	39.4	19.4
2 - axle combined cold and hot test cycle *****													
Diesel Euro VI*****	3	0	150000	0.16	0.01		1.59	1.10	0.030	1138	1138	36.0	15.5
Diesel Euro VI*****	3	150001	500000	0.26	0.01		0.82	0.37	0.015	1075	1075	34.0	14.7
Diesel Euro VI*****	0	500001	-										
CNG Euro VI*****	2	347	35992	0.61	0.19	0.13	0.42	0.26	0.024	1078	1081	39.8	19.6
2 - axle, lightweight													
Diesel****	4	993	26436	0.88	0.03		6.70		0.047	953	953	30.17	13.0
Diesel Euro VI	3	8977	130511	0.12	0.00		0.18	0.24	0.009	958	958	30.33	13.1
Diesel Euro VI	3	150001	500000	0.02	0.00		0.39	0.25	0.009	979	979	31.00	13.4
3 - axle													
Diesel Euro V	4	1400	232494	6.68	0.03		3.16		0.089	1414	1414	44.8	19.3
Diesel EEV	7	0	150000	1.24	0.04		6.02	3.33	0.072	1462	1462	46.3	19.9
Diesel EEV	0	150001	500000										
Diesel EEV	2	500001	830076	0.80	0.08		6.28	1.61	0.134	1457	1457	46.1	19.9
Diesel EEV Retro E6	4	297530	838336	0.08	0.00		0.77	0.43	0.015	1474	1474	46.6	20.1
Diesel Euro VI	11	0	150000	0.10	0.00		0.42	0.28	0.037	1373	1373	43.4	18.7
Diesel Euro VI	8	150001	500000	0.13	0.00		2.07	0.65	0.009	1409	1409	44.6	19.2
Diesel Euro VI	0	500001	-										
CNG EEV	1	0	150000	4.91	1.75	1.62	8.77		0.012	1396	1434	51.5	25.4
CNG EEV	2	150001	350000	3.31	0.98	0.86	3.38	2.55	0.005	1411	1431	52.1	25.6
CNG EEV	3	350001	651529	16.19	1.98	1.78	7.22	3.04	0.016	1424	1465	52.5	25.9
CNG Euro VI	1	41390	41390	0.47	0.04	0.02	0.01		0.01	1318	1319	48.6	23.9
3 - axle combined cold and hot test cycle *****													
Diesel Euro VI*****	1	0	150000	0.39	0.00		1.03		0.022	1390	1390	44.0	19.0
Diesel Euro VI*****	3	150001	500000	0.22	0.00		2.25	0.14	0.013	1444	1444	45.7	19.7
Diesel Euro VI*****	0	500001	-										
Total number of tests      183													
*Methane fueled buses CH <sub>4</sub> = THC * 0.95													
** CO <sub>2</sub> eqv = CO <sub>2</sub> + 23 * CH <sub>4</sub>													
*** Euro V results estimated with the results of Euro IV													
**** Include test results from Euro III, Euro IV and EEV													
***** Weighted average from cold (14%) and hot (86%) cycles test results													

*Taulukko 2: Euro I - VI kaupunkibussien merkkikohtainen päästötaulukko Braunschweig-syklillä päästöluokan sekä ajoneuvon tyyppin mukaan jaoteltuna.*

Braunschweig															
Maker	Level	Fuel	Type	Exhaust after treat.	CO [g/km]	HC [g/km]	CH <sub>4</sub> [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km] std.	PM [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	CO <sub>2</sub> eqv. **	FC [kg/100 km]	FC [MJ/km]	UC [kg/100 km]
Volvo	Euro I	Diesel	2 - axle		0.06	0.12		19.47		0.248	1352	1352	42.8	18.4	
Scania	Euro I	Diesel	2 - axle		2.71	0.52		11.71		0.624	1087	1087	34.4	14.8	
Volvo	Euro II	Diesel	2 - axle		1.16	0.14		12.35		0.157	1343	1343	42.5	18.3	
MB	Euro II	Diesel	2 - axle		1.26	0.31		12.43		0.248	1236	1236	39.1	16.9	
Scania	Euro II	Diesel	2 - axle		0.98	0.24		8.77		0.176	1267	1267	40.1	17.3	
Kabus	Euro II	Diesel	2 - axle		4.31	0.15		16.54		0.398	1368	1368	43.3	18.7	
Renault	Euro II	Diesel	2 - axle		2.40	0.26		15.22		0.257	1155	1155	36.5	15.7	
Volvo *	Euro II	CNG	2 - axle		2.87	8.96	8.51	17.58		0.007	1171	1367	43.2	21.3	
Volvo	Euro II	Diesel	2 - axle	PDPF	0.07	0.03		12.34		0.075	1267	1267	40.1	17.3	
Volvo	Euro II	Diesel	2 - axle	CRT	0.04	0.10		11.75		0.407	1589	1589	50.3	21.7	
Volvo	Euro II	Diesel	2 - axle	SCRT	0.12	0.01		1.54		0.010	1314	1314	41.6	17.9	
Volvo	Euro III	Diesel	2 - axle		1.31	0.02		8.81		0.308	1244	1244	39.4	17.0	
Scania	Euro III	Diesel	2 - axle		0.60	0.17		8.30		0.154	1195	1195	37.8	16.3	
Volvo	Euro III	CNG	2 - axle		0.05	2.64	2.38	9.44		0.019	1185	1240	43.7	21.5	
Scania	Euro III	Diesel	2 - axle	PDPF	0.13	0.03		7.37		0.093	1141	1141	36.1	15.6	
Scania	Euro III	Diesel	2 - axle	SCR + DPF	0.06	0.00		2.51		0.007	1194	1194	37.8	16.3	1.40
Volvo	Euro III	Diesel	2 - axle	CRT	1.17	0.10		9.70		0.042	1103	1103	34.9	15.0	
Volvo	Euro IV	Diesel	2 - axle	SCR	6.71	0.02		11.44		0.083	1119	1119	35.4	15.3	0.55
MB	Euro IV	Diesel	2 - axle	SCR	1.41	0.04		2.57		0.058	1130	1130	35.8	15.4	
Scania	Euro IV	Diesel	2 - axle	EGR	1.78	0.14		8.29		0.134	1258	1258	39.8	17.2	
Iveco	EEV	Diesel	2 - axle	SCRT	0.17	0.00		6.87		0.013	1107	1107	35.0	15.1	2.35
Iveco	EEV	Diesel	2 - axle	SCR	5.03	0.04		6.56		0.154	1208	1208	38.2	16.5	
Volvo	EEV	Diesel	2 - axle	SCR	3.18	0.04		6.09		0.072	1120	1120	35.5	15.3	2.20
Scania	EEV	Diesel	2 - axle	EGR	0.41	0.06		6.43		0.107	1228	1228	38.9	16.7	
VDL	EEV	Diesel	2 - axle	SCRT	0.58	0.01		5.66		0.011	1217	1217	38.5	16.6	
Volvo	EEV	Diesel	2 - axle	SCRT	0.04	0.01		6.96		0.031	1107	1107	35.0	15.1	1.75
VDL	EEV	Diesel	lt. 2 - axle	SCR	0.55	0.01		5.47		0.036	919	919	29.1	12.5	
Scania	EEV	Ethanol	2 - axle		4.01	0.69		6.25		0.022	1321	1321	69.2	17.5	
Iveco	EEV	CNG	2 - axle		2.62	1.17	1.11	2.16		0.008	1038	1063	38.3	18.8	
MAN	EEV	CNG	2 - axle		3.86	0.80	0.76	2.69		0.004	1201	1218	44.3	21.8	
MB	EEV	CNG	2 - axle		0.14	2.53	2.40	4.89		0.016	1583	1639	58.4	28.7	
Iveco	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.12	0.00		1.23	0.94	0.003	1064	1064	33.7	14.5	
MB	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.06	0.00		1.04	0.44	0.015	1059	1059	33.5	14.3	
Scania	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.04	0.00		0.70	1.07	0.014	1281	1281	40.5	17.5	
VDL	Euro VI	Diesel	lt. 2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.07	0.00		0.31	0.23	0.009	969	969	30.7	13.2	
VDL	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.24	0.00		0.56		0.023	1090	1090	34.5	14.9	2.99
Volvo	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.12	0.00		0.38	0.41	0.006	1089	1089	34.5	14.9	2.19
MB	Euro VI*****	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.19	0.01		0.72	0.22	0.032	1069	1069	33.8	14.6	
Iveco	Euro VI*****	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.25	0.01		0.33		0.006	1057	1057	33.5	14.4	
Scania	Euro VI*****	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.11	0.01		2.69	2.49	0.025	1205	1205	38.1	16.4	
Volvo	Euro VI*****	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.37	0.01		1.20		0.009	1101	1101	34.8	15.0	2.00
MB	Euro VI	CNG	2 - axle	KAT	0.65	0.10	0.07	0.11		0.029	1025	1027	37.8	18.6	
Scania	Euro VI	CNG	2 - axle	KAT	0.40	0.03	0.00	0.07		0.022	1110	1110	41.0	20.2	
Scania	Euro III	Diesel	3 - axle	SCR + DPF	0.08	0.01		0.47		0.016	1443	1443	45.6	19.7	
Scania	Euro IV	Diesel	3 - axle	EGR	0.98	0.05		9.75		0.162	1501	1501	47.5	20.5	
Volvo	Euro V	Diesel	3 - axle	SCR	6.68	0.03		3.16		0.089	1414	1414	44.8	19.3	2.94
Volvo	EEV	Diesel	3 - axle	SCR	1.24	0.07		4.74	3.23	0.081	1477	1477	46.7	20.1	2.72
Scania	EEV	Diesel	3 - axle	EGR	0.33	0.04		8.86	0.70	0.105	1438	1438	45.5	19.6	
Golden Dragon	EEV	Diesel	3 - axle	SCR	0.35	0.02		2.97		0.042	1407	1407	44.5	19.2	4.10
VDL	EEV	Diesel	3 - axle	SCRT	3.96	0.02		6.19		0.093	1518	1518	48.0	20.7	1.66
Scania	EEV Ret E6	Diesel	3 - axle	EGR+Retro EAT	0.09	0.00		0.86	0.46	0.018	1480	1480	46.9	20.2	1.81
Volvo	EEV Ret E6	Diesel	3 - axle	Retro EAT	0.05	0.03		0.50		0.007	1455	1455	46.0	19.8	3.85
Scania	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.10	0.00		2.10	3.42	0.008	1419	1419	44.9	19.4	
Solaris	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.00	0.01		0.02	0.00	0.022	1302	1302	41.2	17.8	2.33
VDL	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.20	0.00		1.02	0.39	0.076	1433	1433	45.4	19.3	4.34
Volvo	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.11	0.00		1.00	0.94	0.009	1350	1350	42.7	18.4	2.67
Scania	Euro VI*****	Diesel	3 - axle		0.24	0.01		2.40	0.70	0.020	1504	1504	47.61	20.5	
VDL	Euro VI*****	Diesel	3 - axle		0.39	0.00		1.03		0.022	1390	1390	43.97	19.0	4.58
Volvo	Euro VI*****	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.20	0.00		2.11		0.007	1384	1384	43.80	18.9	
MAN	EEV	CNG	3 - axle	EGR	12.90	1.96	1.77	7.75		0.011	1398	1439	51.6	25.4	
Solaris	EEV	CNG	3 - axle	SEGR	3.19	0.63	0.56	0.83		0.004	1445	1458	53.3	26.2	
Scania	Euro VI	CNG	3 - axle	KAT	0.47	0.04	0.02	0.01		0.006	1318	1319	48.6	23.9	

\*Methane fueled buses CH<sub>4</sub> = THC \* 0.95

\*\* CO<sub>2</sub> eqv = CO<sub>2</sub> + 23 \* CH<sub>4</sub>

\*\*\* Euro V results estimated with the results of Euro IV

\*\*\*\* Include test results from Euro III, Euro IV and EEV

\*\*\*\*\* Weighted average from cold (14%) and hot (86%) cycles test results



*Taulukko 3: Taulukko 3: Euro VI ja Euro VI retrofit diesel kaupunkibussien keskimääräiset päästöt WHVC-syklillä rakenteen mukaan jaoteltuna.*

[illegible]

*Taulukko 4: Euro VI ja Euro VI retrofit diesel kaupunkibussien merkkikohtainen päästötaulukko WHVC-syklillä päästöluokan sekä ajoneuvon tyytin mukaan jaoteltuna.*

WHVC																		
Maker	Number n	Level	Fuel	Type	Exht.	CO [g/km]	HC [g/km]	CH4 [g/km]	NOx [g/km]	NOx [g/km] std.	PM [g/km]	CO2 [g/km]	CO2 eqv. **	FC [kg/100 km]	FC [MJ/km]	UC [kg/100 km]		
2 - Combined cold and warm start *																		
Iveco	3	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.22	0.00		0.48	0.51	0.004	726	726	23.0	9.9			
MB	4	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.05	0.00		0.72	0.33	0.006	716	716	22.7	9.8			
Scania	3	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.01	0.00		1.10	0.95	0.008	776	776	24.6	10.6			
VDL	1	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.17	0.00		0.44		0.025	756	756	23.9	10.3	2.80		
VDL***	5	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.08	0.00		0.31	0.21	0.018	683	683	21.6	9.3	1.83		
Volvo	3	Euro VI	Diesel	2 - axle	DOC+DPF+SCR	0.15	0.00		0.51	0.23	0.004	702	702	22.2	9.6	1.30		
MB	1	Euro VI	CNG	2 - axle	TWC	0.73	0.22	0.17	0.33		0.011	703	707	25.9	12.8			
Scania	1	Euro VI	CNG	2 - axle	TWC	0.60	0.06	0.04	0.09		0.015	722	723	26.6	13.1			
3 - Combined cold and warm start *																		
Scania retro E6	3	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.01	0.01		1.30	0.01	0.008	917	917	29.0	12.5	0.84		
Scania	4	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.08	0.00		1.27	1.59	0.010	925	925	29.3	12.6			
Solaris	1	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.04	0.01		0.11		0.013	841	841	26.6	11.5	1.78		
VDL	1	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.06	0.01		1.33		0.009	904	904	28.6	12.3	3.36		
Volvo retro E6	1	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.04	0.00		0.83		0.004	972	972	30.8	13.3	2.44		
Volvo	4	Euro VI	Diesel	3 - axle	DOC+DPF+SCR	0.28	0.00		1.01	0.74	0.007	834	834	26.4	11.6	1.16		
Scania	1	Euro VI	CNG	3 - axle	TWC	0.47	0.22	0.17	0.15		0.002	821	824	30.3	14.9			
* Weighted average cold (14 %) and warm (86 %) start results																		
** CO2 eqv = CO2 + 23 * CH4																		
*** Lightweight																		

## 5. Tulosten tarkastelu

---

Taulukko 1:n Euro VI-päästöluokan dieselbussien tuloksista (Braunschweig) voidaan huomata, että päästötaso on laskenut selvästi Euro V-luokan päästötasosta niin CO-, NO<sub>x</sub>- kuin PM-päästöjen osalta. Euro VI-päästöluokan myötä ajoneuvoissa DPF+SCR -yhdistelmä on käytännössä tullut pakolliseksi pakokaasujen jälkikäsitteilymenetelmäksi, jotta lainsäädännön päästövaatimukset täyttyvät, sillä muulla tekniikalla niin vähäisiin päästöihin ei enää päästä. Kaikissa kolmessa päästökomponenteissa mitattu alenema on selkeästi suurempi kuin mitä raja-arvojen muutoksesta suoraan laskeminen antaa.

Myös Euro VI CNG-bussien osalta CO-, NO<sub>x</sub>- ja HC-päästöt ovat laskeneet merkittävästi Euro V/EEV -luokkien busseihin verrattuna. CNG-bussien hiukkasmassapäästöissä (PM) ei sen sijaan ole tapahtunut merkittävää muutosta Euro II - VI-luokkien välillä. Tämä selittyy yksinkertaisesti sillä, että homogeenisen seoksen (sekä stoikiometrisen että laihaseos) kipinäsytytys palamismenetelmänä tuottaa maakaasua poltettaessa hyvin vähän hiukkasia.

Vuonna 2017 otettiin käyttöön mittaustulosten jaottelu ajokilometrien mukaan. Taulukko 1 ja Taulukko 3:n tulosten perusteella nähdään, että Euro VI-autoilla NO<sub>x</sub>-päästöt ovat uusina (alle 150 tkm ajettuina) todella matalalla tasolla. Tulokset sekä Braunschweig- että WHVC- syklin osalta ovat luokkaa 0,1 g/km 2-akselisten ja 0,4 g/km 3-akselisten autojen osalta. Mittaukset osoittavat kuitenkin, että NO<sub>x</sub>-päästöt nousevat selkeästi ajokilometrien karttuessa. 151 tkm...500 tkm ajetuilla busseilla NO<sub>x</sub>-päästöt ovat 2-akselisten bussien osalta nousseet Braunschweig syklillä jo arvoon 1,1 g/km ja WHVC syklillä arvoon 0,6 g/km. Vastaavasti 3-akselisten 151 tkm...500 tkm ajettujen bussien osalta NO<sub>x</sub>-päästöt ovat nousseet Braunschweig syklillä arvoon 2,1 g/km ja WHVC syklillä arvoon 1,3 g/km. Vuoden 2019 Rakebusprojektin mittauksiin saatiin kaksi yli 500 tkm ajettua 2-akselista Euro VI-bussia. Niiden keskimääräinen tulos nousi arvoon 1,4 g/km Braunschweig syklillä ja arvoon 1,1 g/km WHVC syklillä. Ajokilometreillä näyttäisi olevan siis selkeä yhteys NO<sub>x</sub>-päästöjen kasvuun.

Muiden päästökomponenttien osalta ei vastaavanlaista päästötasojen kasvua ole havaittavissa. Itse asiassa hiukkasmassapäästöjen (PM) osalta keskimääräiset päästötasot jopa hieman laskevat ajokilometrien kasvaessa. Energiankulutuksen osalta selkeää trendiä ei ole havaittavissa, vaan energiankulutus näyttää nousevan ajokilometrien kasvaessa Braunschweig syklillä sekä 3-akselisten bussien osalta WHVC-yhdistelmäsyklillä, mutta 2-akselisten osalta laskevan WHVC-yhdistelmäsyklillä.

Vuonna 2018 otettiin käyttöön myös Braunschweig- ja WHVC-sykleissä mitattujen NO<sub>x</sub>-päästöarvojen arviointi suhteessa raskaiden ajoneuvojen Euro VI-moottoreiden lainsäädännön raja-arvoihin. Vertailu ei ole absoluuttisen tarkka, sillä tyyppihyväksymistestit tehdään pelkällä moottorilla, kun taas alustadynamometrimittausten tulokset on laskettu moottorin kampaikselille olettamalla voimansiirron hyötysuhteeksi 75 %<sup>7</sup>, eli luku joka perustuu mittauksilla arvioituun voimansiirron hyötysuhteeseen WHVC- ja Braunschweig- sykleillä.

Taulukko 5:ssä on esitetty Braunschweig- ja WHVC-sykleillä mitattujen keskimääräisten NO<sub>x</sub>-päästöjen suhde, ns. CF-kerroin<sup>8</sup>, jolla mitattua päätötulosta verrataan raskaan kaluston Euro VI-moottorien lainsäädännön raja-arvoihin tyyppihyväksyntäsyklillä WHTC sekä ajoneuvolla suoritettavan käytönaikaisten päästöjen seurantamittauksella ISC<sup>9</sup>. Esitettyssä vertailussa on syytä kuitenkin huomata, että WHTC-sykli poikkeaa kuormitusprofiililtaan Braunschweig-syklistä ja WHVC-syklistä, vaikka WHTC on johdettu nimenomaan WHVC-syklin nopeusprofiilista. Käytönaikaisten päästöjen mittaus ISC suoritetaan normaalin liikenteen joukossa. Kaupunkibussien osalta syklin tulee sisältää n. 70 %:a kaupunkiajoa ja n. 30 %:a

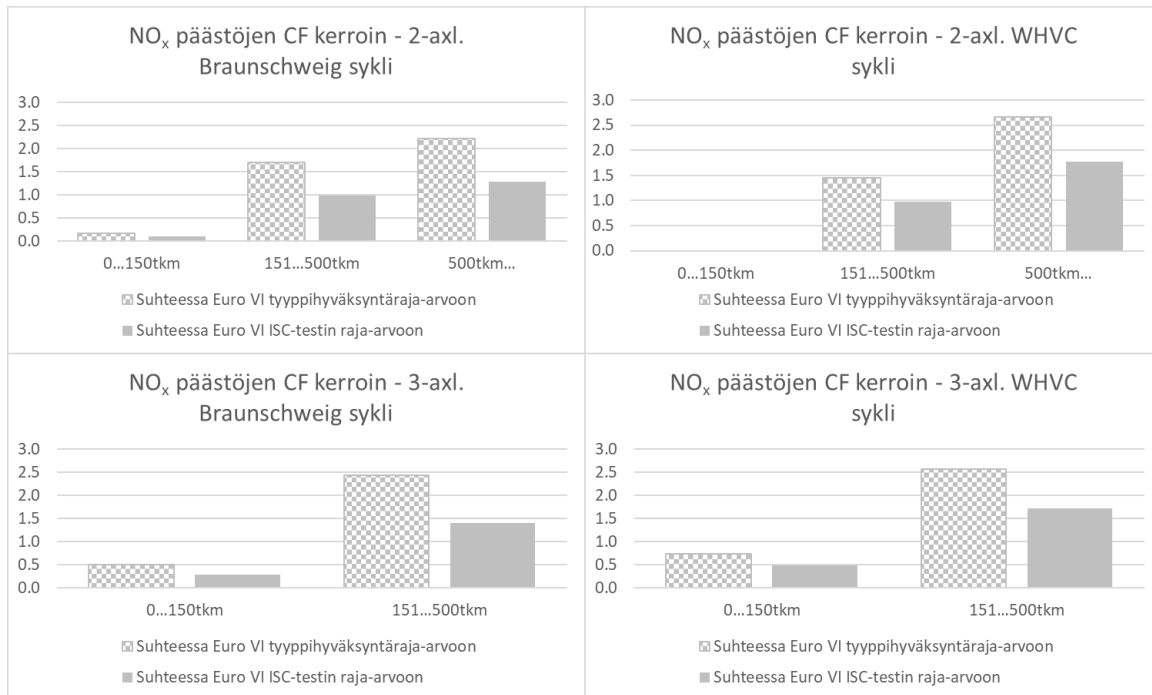
<sup>7</sup> Luku 75 % on saatu jakamalla vetävien renkaiden tuottama teho alustadynamometrin rullille moottorin teholla. Luku pitää siten sisällään myös apulaitteiden kuluttaman tehon.

<sup>8</sup> CF = Conformity factor, vaatimuksen mukaisuus kerroin

<sup>9</sup> ISC = In-service Conformity, Euro VI raskaiden ajoneuvojen käytönaikaisten päästöjen vaatimusten mukaisuus testi

maantieajoa. ISC reitillä sallitaan 1,5 kertaiset päästöt suhteessa WHTC sykliin. Taulukko 5:n vertailu antaa kuitenkin hyvän arvion päästöjen kehityksestä ajokilometrien kasvaessa suhteessa lainsäädännön raja-arvoihin.

*Taulukko 5: NO<sub>x</sub> päästöt suhteessa lainsäädännön raja-arvoihin.*



WHVC-syklillä on mitattu vain yksi alle 150 tkm ajettu 2-akselinen bussi. Tämän takia Taulukko 5:ssä ei ole merkitty CF-kerrointa 0...150 tkm ajetuille 2-akselisille busseille WHVC-syklillä. 3-akselisiä yli 500 tkm ajettuja busseja ei ole vielä ollut mittauksissa, jonka takia Taulukko 5:ssä ei ole niille tulosta.

Taulukosta nähdään hyvin edellä kuvattu keskimääräisen NO<sub>x</sub>-päästöjen kohoaminen ajokilometrien myötä ja sen suhde tyyppihyväksyntä raja-arvoihin. Alle 150 tkm ajetuilla busseilla NO<sub>x</sub>-päästöt ovat reilusti alle raja-arvojen (CF-kerroin 0,6 tai alle), kun taas yli 150 tkm ajetuilla busseilla NO<sub>x</sub>-päästöt ovat reilusti yli tyyppihyväksyntä raja-arvon (CF-kerroin luokka 2-akselisilla busseilla 1,5 ja 3-akselisilla 2,5) ja parhaimmillaankin aivan ISC reitin raja-arvolla (2-akseliset bussit). Yli 500 tkm ajetuilla kahdella 2-akselisella bussilla CF-kerroin nousee jo 2,2:een Braunschweig ja 2,6:een WHVC sykliä tyyppihyväksyntä raja-arvoon nähden.

## 6. Yhteenveto

---

Vuoden 2019 Rakebus -projektin myötä VTT:n ylläpitämä kaupunkibussien päästötietokanta kattaa tällä hetkellä yhteensä 183 kaupunkibussia (dieselbusseja Euro I - VI-luokissa, kaasubusseja Euro II - VI-luokissa sekä EEV luokan etanolibusseja) Braunschweig-syklillä mitattuna (täysin lämmenteillä moottoreilla). Lisäystä vuoteen 2018 nähden on tullut viiden auton mittaustulokset. Tulokset ovat keskenään täysin vertailukelpoiset samana pysyneen Braunschweig-mittaussyklin ja -menetelmän ansiosta.

Vuoden 2017 aikana otettiin mittauksissa käyttöön myös WHVC-sykli ja yhdistelmä kylmä- ja kuumakäynnisteisestä testauksesta. Näin tuotetaan mittaustuloksia tavalla, joka vastaa Euro VI-moottorien tyyppihyväksymissykliä WHTC, ja mahdollistetaan suntaa antava vertailu moottorivalmistajan ilmoittamiin hyväksymistuloksiin tai varsinaisiin raja-arvoihin.

Edelleen pääosa tuloksista ilmoitetaan ajoneuvolle muodossa g/km. WHVC-syklin tulokset on ilmoitettu ns. yhdistelmätuloksena, joka on painotettu keskiarvo kylmän ja kuumen syklin tuloksista. Painokerroimet ovat samat kuin tyyppihyväksymisessä käytetyt (kylmäsyklin painokerroin on siis 14 % ja kuumasyklin 86 %. Vuonna 2018 arvinoitiin otettiin mukaan myös ns. CF-kerroin, eli tuloksia verrattiin suhteessa varsinaisiin raja-arvoihin. Tällöin alustadynamometritulokset muutetaan hyväksymismittauksiin verrannollisiksi moottoritestiarvoiksi ottamalla huomioon voimasiirron ja apulaitteiden arvioidut häviöt. CF-kerroin havainnollistaa selkeästi päästötasoa suhteessa lainsäädännön tavoitteeseen.

Vuonna 2017 päästötietokannan raportoinnissa otettiin käyttöön myös kunkin päästöluokan mittaustulosten jaottelu kolmeen ryhmään ajokilometrien perusteella. Jaottelun johdosta nyt on nähtävissä NO<sub>x</sub>-päästöjen kehitys ajokilometrien kasvaessa. Mittausten perusteella näyttäisivät Euro VI autojen NO<sub>x</sub>-päästöt olevan alle 150 tkm ajettuina todella matalla tasolla, mutta nousevan melko voimakkaasti ajokilometrien kasvaessa. Muiden päästökomenttien osalta ei vastaavanlaista kehitystä ole havaittu. CF-kertoimet ovat alle 150 tkm ajetuille autoille enimmillään 0,6. Keskiryhmän 150 - 500 tkm autoilla kerroin on selvästi korkeampi, pahimmillaan 2,5-kertainen (3-akseliset) varsinaiseen raja-arvoon ja 1,6-kertainen ns. ISC-arvoon verrattuna. Vuoden 2019 projektin aikana mittauksiin saatiin myös kaksi 2-akselista bussia joiden ajokilometrimäärä oli yli 500 tkm. Niiden tulosten osalta näyttäisivät NO<sub>x</sub>-päästöt nousevan edelleen. Braunschweig-syklillä CF-kerroin on noin 2,2 ja WHVC syklillä noin 2,6 suhteessa viralliseen tyyppihyväksyntä raja-arvoon. Vastaavasti suhteessa ISC-arvoon nähden CF-kerroin on 1,3 Braunschweig-syklillä ja 1,8 WHVC-syklillä.

Tulokset viittaavat selkeästi siihen, että NO<sub>x</sub>-päästöt kasvavat ajokilometrien kasvaessa. Päästötietokannassa on nyt kahden 2-akselisen yli 500 tkm ajatun Euro VI-bussin tulokset, mutta ei vielä mittaustulosta yli 500 tkm ajetuista 3-akselisista Euro VI-busseista. Euro VI-autojen mittaustulokset ovat kuitenkin vielä suhteellisen vähäiset, jolloin yksittäisten autotyyppien vaikutus on vielä kohtuullisen merkittävä. Näiden asioiden johdosta sekä huomioiden havaittu NO<sub>x</sub>-päästöjen kasvu ajokilometrien kasvaessa on hyvin perusteltua jatkaa Rakebus-projektin puitteissa suoritettavaa mittaustoimintaa Euro VI-bussien todellisten päästöjen todentamiseksi. Euro VI-lainsäädäntö edellyttää bussien pakokaasujen hallintajärjestelmiltä vähintään 300.000 km:n ja 6 vuoden tai 700.000 km:n ja 7 vuoden kestoikää riippuen ajoneuvokategorian (M3) luokasta.